à Monsieur Natalis Guillot, membre de la Société Philomathique
affectueux souvenir

XLVII

Anatole de Caligny

NOTICE

SUR

LES TRAVAUX SCIENTIFIQUES

DE

M. ANATOLE DE CALIGNY,

Membre de la Société philomatique de Paris,
Membre correspondant de l'Académie des Sciences de Turin,
de celle de Caen, des Sociétés d'Agriculture de Lyon, orientale de France,
des Sciences de Cherbourg, de Liége, etc.

1839, prix de mécanique de l'Institut de France,
1844, médaille d'or du royaume de Sardaigne;
1852, médaille d'or de la Société centrale d'Agriculture de France;
1855, médaille de première classe à l'Exposition universelle.

Je dois à M. le général Poncelet l'idée de donner à plusieurs de mes appareils le nom d'*Anti-béliers hydrauliques* pour les distinguer des béliers de Montgolfier, qui ne pouvaient fonctionner sans choc brusque, les béliers aspirateurs eux-mêmes n'en étant point exempts.

Je me propose de rappeler, autant qu'il est possible de le faire en peu de mots, en quoi consistent les principes nouveaux d'hydraulique *vérifiés par l'expérience*, sur lesquels je désire le plus spécialement attirer l'attention. Je divise mes appareils en deux classes : les uns peuvent être appliqués d'une manière utile dans l'état où ils sont; les autres ne sont peut-être que des appareils utiles pour démontrer des phénomènes de physique. Je ne suivrai point l'ordre des dates et ne citerai point les notes nombreuses insérées dans divers recueils, ne mentionnant ici que les principaux *faits*. Je rappellerai seulement que j'ai publié dans le *Journal de Mathématiques* de M. Liouville, des Mémoires formant un volume tiré à part, dont le résumé avec figures se trouve dans le *Technologiste* (année 1850). Depuis cette époque, j'ai présenté à l'Académie des Sciences divers Mémoires et Notes insérés par extraits dans les *Comptes-Rendus*, et j'ai fait à des Sociétés savantes, notamment à la Société philomatique de Paris, diverses communications mentionnées dans les Bulletins.

Chacun de mes appareils diffère peut-être plus du précédent, que le bélier hydraulique de Montgolfier ne diffère de celui de Witehurst, publié dans les Transactions philosophiques de la Société royale de Londres, en 1775, plus de vingt ans avant l'époque où Montgolfier avoue lui-même, dans son brevet d'invention, qu'il a pensé pour la première fois à cette machine. Quelques mots sur chacune de mes principales expériences ne seront pas sans utilité et serviront à les mieux distinguer.

Appareils fonctionnant au moyen d'une chute d'eau.

Machine élévatoire à tube oscillant.

I. — Cet appareil, que j'ai exécuté, en 1850, à Saint-Germain en Laye, où M. Clapeyron le vit marcher, le 3 novembre de la même année, est celui pour lequel j'ai été honoré d'une médaille d'or par la Société centrale d'Agriculture de France, sur le rapport de M. Combes, en 1852 (voir les Mémoires de cette Société, 1er semestre de 1852, pages 135 à 142), et sur le rapport de M. le général Morin, d'une médaille de première classe, à l'Exposition universelle de 1855, où il a fonctionné d'une manière suivie. Il a pour but d'élever de l'eau au moyen d'une chute, dans des circonstances où le bélier hydraulique n'était point appliqué. Le principe du bélier est un choc. Or, c'est précisément ce que j'évite *en ne fermant jamais les sections transversales des tuyaux*. C'est d'ailleurs en vertu d'une espèce particulière de succion à *contre-courant*, auquel les ingénieurs refusent généralement de croire quand ils ne l'ont pas vue (voir le paragraphe VII), que fonctionne la seule pièce mobile indispensable. A l'extrémité d'aval d'un tuyau de conduite, un tube vertical, en se levant et se baissant de lui-même, permet à la force vive de s'emmagasiner dans un tuyau de conduite, et à l'eau de s'élever ensuite en vertu de cette force vive. En général, il n'y a de commun entre la plupart de mes appareils et ceux proposés avant moi, que l'emploi du mouvement acquis d'une colonne liquide, signalé déjà par Mariotte et Bernoulli. La Note lithographiée avec figure, communiquée à l'Exposition universelle, a été reproduite notamment dans *le Musée Belge*, en 1856, t. XXIX, p. 194, et dans divers recueils français, allemands, etc. (Voir aussi les Comptes-Rendus des séances de l'Académie des Sciences du 2 février 1852, et le journal *l'Institut*, novembre et décembre 1850, etc.).

On sait que, pour les chutes au-dessous d'un mètre, les constructeurs ne vou-

laient pas répondre de la marche régulière des béliers hydrauliques. Or, un essai de cet appareil ayant été fait avec des tuyaux en planches de $0^m,60$ de diamètre intérieur, la chute variant de $0^m,50$ à 8 centimètres pour une hauteur de versement de $1^m,50$ au-dessus du bief d'aval, il ne reste plus de doute sur la possibilité de le faire construire par tous les charpentiers de village, ce qui est intéressant pour l'agriculture.

L'Administration des ponts et chaussées a fait un essai en grand de ce système, pour vider l'écluse du Rocreul, près Saint-Lô, sur la Vire canalisée, en relevant une partie de l'eau au bief supérieur. Un rapport favorable rédigé par M. Méquet, inspecteur général des ponts et chaussées, déclare que l'appareil, après une ou deux oscillations de mise en train, a bien marché, abandonné à lui-même, vidant le sas de l'écluse jusqu'au niveau du bief inférieur ; et que la Commission *regarde l'essai du Rocreul comme complétement concluant en ce qui concerne l'application pratique de la machine oscillante de M. de Caligny, à de petites chutes et à des élévations moyennes; elle a été singulièrement frappée de la simplicité de l'appareil et de ce qu'il présente d'ingénieux.*

M. le Ministre des travaux publics a témoigné, par une dépêche, sa satisfaction de ce que les facilités qui m'ont été données par l'Administration pour expérimenter *en grand* ce système, *ont été suivies d'un heureux résultat.*

Un essai de cet appareil, dans un jardin de Versailles, ayant été mis à la disposition du public pendant plusieurs années, et ayant été visité par beaucoup d'ingénieurs et de personnes compétentes qui ont bien voulu s'inscrire sur un registre, suffit pour montrer qu'il est parfaitement rustique, n'est pas sujet à des réparations fréquentes, même étant construit en minces feuilles de zinc; que les herbes et les vases, etc., le traversent sans l'engorger, d'autant plus qu'il peut être facilement lavé avec toute la force de *chasse* duc à la hauteur de chute. M. Rumeau, alors ingénieur en chef, et M. Vauchelle, maire de Versailles, ont certifié l'utilité de cet essai et la facilité de la mise en train. M. Rumeau témoigne, qu'ayant visité plusieurs fois, et *à l'improviste, cette machine, il l'a toujours vue fonctionner utilement ou prête à fonctionner de suite et avec régularité en la mettant en train.* On a fait constater sa marche de jour *et de nuit,* qui sera certifiée au besoin par la Société des Sciences naturelles de Seine-et-Oise.

L'essai en grand du Rocreul montre que le niveau d'amont peut baisser sans que l'appareil s'arrête (1); mais, quand ce niveau monte au delà d'une certaine

(1) M. le général Morin m'a autorisé à publier une lettre qu'il m'a fait l'honneur de m'écrire, le 5 février 1859, et dans laquelle il dit : « Vos souvenirs à l'égard des expériences faites au Con-

hauteur, on a jusqu'à présent perdu de l'eau par un *trop-plein*. Il faudrait un régulateur composé d'une sorte de flotteur pour éviter cet inconvénient, comme je l'ai expliqué dans mes Notes.

L'inconvénient de ce système consiste en ce qu'il exige, dans les essais faits jusqu'à ce jour, une longueur de tuyau fixe assez grande par rapport à la chute, pour qu'on puisse compter sur un effet utile d'environ cinquante pour cent *en eau élevée*. Cependant un tuyau court n'empêche pas la marche d'être régulière, et des expériences plus en grand que les précédentes, faites aux bassins de Chaillot, auxquelles plusieurs membres de l'Institut m'ont fait l'honneur d'assister, montrent que l'effet utile est encore assez satisfaisant pour des longueurs de tuyau de 0^{m}60 de diamètre, bien moindres par rapport à la chute que celles qui donnent de meilleurs effets. Un procès-verbal de ces expériences a été fait par M. Corot, alors inspecteur des machines du service municipal des eaux de Paris. Il a été visé par M. Dupuit, inspecteur général des ponts et chaussées; et M. Combes l'a certifié conforme aux faits observés en sa présence.

On sait d'ailleurs que l'effet utile en *eau élevée* d'une pompe conduite par une roue hydraulique n'est qu'une fraction de fraction, et qu'on ne compte pas sur un effet utile de cinquante pour cent, surtout quand il s'agit d'élever l'eau à de petites hauteurs pour lesquelles on n'avait pas de pompe convenable.

Moteur hydraulique à flotteur oscillant, et appareil pour les épuisements sans flotteur.

II. — L'effet utile de ce système, que j'ai inventé en 1838, dépasse notablement soixante pour cent du travail dépensé; il est jusqu'à présent plus considérable que celui du précédent, sans qu'il soit nécessaire d'avoir un aussi long tuyau fixe. Le mode de succion qui fait fonctionner le tube mobile a été mieux étudié dans les expériences faites en 1842 et 1843, où la vanne d'introduction et son flotteur annulaire ne font qu'une seule pièce automatique. Quand on supprime le flotteur cylindrique agissant en général en descendant sur la résistance à vaincre, on peut en faire une machine pour les épuisements, par l'addition d'une soupape laissant entrer l'eau à épuiser quand une colonne liquide oscil-

» servatoire Impérial des Arts et Métiers, en 1855, sont parfaitement exacts; le niveau pouvait s'a-
» baisser dans le bassin alimentaire de votre machine, sans en interrompre le jeu, mais il ne pou-
» vait s'élever au delà d'une certaine limite, sans faire cesser complètement la marche de l'appareil;
» cet inconvénient se serait, sans aucun doute, moins facilement manifesté, si, comme on devrait le
» faire dans une installation définitive, la section du bassin alimentaire avait été plus grande. »

lante descend au-dessous d'elle. L'avantage spécial de ce système est de permettre de diminuer presque indéfiniment les résistances passives.

Il a été l'objet de trois rapports favorables : le premier le 30 mars 1839, à la Société philomatique, par MM. Cagniard de Latour et Combes; le second, le 13 janvier 1840, à l'Institut, par MM. Cordier, Poncelet et Coriolis, avec recommandation à M. le Ministre des travaux publics; le troisième, le 7 octobre 1844, à l'Institut, par MM. Cordier, Poncelet et Lamé, sur une expérience en grand, faite aux bassins de Chaillot. Le dernier Mémoire avait été perdu au secrétariat; il est refait presque en entier dans le tome XII, p. 347, du *Journal de Mathématiques*. M. Coriolis, dans une des lettres citées par M. Lamé, rapporteur, dit qu'il regarde « ce système comme bien conçu suivant les règles de » la dynamique, et avec une *adresse d'invention* dont son auteur avait déjà fait » preuve dans une machine analogue. »

On savait utiliser les chutes d'eau au moyen d'un flotteur, mais par un mouvement très-lent, et avec plus de perte de force vive.

Dans cet appareil, une grande colonne liquide oscille dans un tuyau en forme de L, qui descend du niveau d'un réservoir et se recourbe horizontalement au fond d'un bief inférieur. L'eau motrice y entre par intervalles et entretient les oscillations. Un flotteur annulaire *automatique* (au milieu duquel passe le flotteur cylindrique attelé à la résistance à vaincre, et qui est alternativement abandonné à son propre poids), introduit alternativement cette eau motrice qui sort ensuite par l'autre extrémité de l'appareil, avec très-peu de perte de force vive. Les sections transversales du tuyau ne sont jamais fermées. L'appareil précité pourrait aussi servir à faire marcher un flotteur. Dans celui-ci, le tube mobile est en amont au lieu d'être en aval, et fonctionne en vertu d'un autre phénomène.

Colonne oscillante à double effet.

III. — Dans les appareils dont je viens de parler, une partie de l'eau revient en arrière à chaque période, et la force vive s'y emmagasine au moyen de l'écoulement *direct* de l'eau du bief d'amont au bief d'aval. Dans celui-ci, les oscillations sont combinées de manière que l'eau ne revient en arrière que dans des tubes verticaux, et ne s'arrête pendant un temps sensible à aucune époque dans les longues conduites sur lesquelles ces tubes sont posés. Il en résulte que, dans les circonstances, d'ailleurs assez rares, où l'on a de l'eau à conduire assez loin, en même temps qu'à élever, le frottement des tuyaux ne doit pas être mis

en entier sur le compte de la machine. Le tuyau de conduite descend dans un puits, où descend aussi le tube vertical d'ascension ; il en résulte que ce tube, après l'oscillation ascendante, se vide, selon les expressions d'un rapport à l'Institut, *sans perdre d'autre force vive que celle qu'exigent les frottements, c'est-à-dire en ne faisant descendre que très-peu le centre de gravité de la colonne fluide qui doit sortir*, à cause de la manière dont se fait l'oscillation de vidange. A chaque période ascendante l'eau *part du repos* et monte du fond du puits au sommet du tuyau où elle doit être élevée. Ce qui reste après le versement supérieur oscille pendant la vidange au-dessous du niveau du bief d'aval, pour approfondir le point de départ de la colonne ascendante.

Je n'ai encore pu trouver, comme pour les appareils précités, un régulateur (1) aussi simple qu'une *seule* vanne cylindrique automatique ; quoiqu'on puisse, au moyen d'*une seule pièce mobile*, faire fonctionner deux colonnes liquides oscillantes dans deux tuyaux d'ascension disposés sur un seul tuyau de conduite. (Voir, dans le journal l'*Institut*, le procès-verbal de la séance de la Société philomatique de Paris, du 20 novembre 1858.) Je conseille donc, *jusqu'à présent*, de se servir de ce principe, pour élever de l'eau, surtout dans le cas où les tuyaux de conduite auraient une très-grande longueur par rapport à la chute motrice, comme on l'aurait fait pour élever de l'eau du bassin Racine à la place du Panthéon, sans la réussite du puits de Greuelle. Dans ces cas, l'inertie des longues colonnes liquides simplifie beaucoup la question.

M. Dupuit, inspecteur général des ponts et chaussées, a cité cet appareil dans un de ses ouvrages publié en 1854. Il a surtout remarqué une combinaison singulière d'oscillations accumulées, et augmentant d'amplitude successivement, comme les termes d'une progression arithmétique, sauf les résistances passives, sans que le centre de gravité descende ; ce qui permet d'amorcer l'appareil avec facilité, comme je l'avais montré dans une expérience en grand au Jardin des Plantes. Deux rapports favorables ont été faits à l'Institut sur cette machine, l'un par MM. Savart, Poncelet, Séguier, Savary et Coriolis, le 20 août 1838 ; l'autre par MM. Poncelet, Coriolis, Gambey et Séguier, le 30 décembre 1839. M. Coriolis a publié dans le *Journal de mathématiques*, t. III, où se trouvent plusieurs de mes Notes, un Mémoire où, comme le remarque M. Liouville, p. 437, il déduit de l'analyse *des résultats semblables à ceux que j'avais obtenus à l'aide*

(1) Parmi les régulateurs que j'ai essayés, pour cette machine, je rappellerai les tiroirs à pressions équilibrées par la circulation du fluide dans des retraites ménagées autour de l'axe, et dont le principe a été appliqué depuis aux locomotives, ainsi qu'on le voit dans le Bulletin de la Société d'encouragement pour l'industrie nationale, année 1858, plus de vingt ans après que je l'avais présenté à l'Institut. Ce fait me paraît une confirmation de plus de l'utilité de mes idées.

de considérations purement géométriques. M. Coriolis dit d'ailleurs, p. 6 de son rapport, que j'étais parvenu à *des nombres peu différents par d'ingénieuses considérations géométriques.*

J'avais déjà construit en 1834 des modèles fonctionnants de ce système à Valognes, dans une province reculée où j'avais fait moi-même mon éducation scientifique. Voilà par quelle raison je n'ai appliqué l'analyse que plus tard. C'est celui de mes appareils dont le principe a été le plus remarqué par la Commission du prix Montyon, quand elle m'a fait l'honneur de me décerner le prix de mécanique, pour un Mémoire dont l'Académie avait déjà voté l'insertion dans le recueil des *Savants étrangers.* Il n'y a aucun arrêt sensible dans ce système, *quand il y a deux tubes d'ascension*, l'ascension finissant pour l'un quand elle commence pour l'autre.

Sous une des formes que j'ai exécutées, une longue colonne liquide fait alternativement fonction de soupape par son inertie. Je montrai cette expérience à M. Le Verrier en 1834. La même année, je communiquai mes idées à divers ingénieurs des ponts et chaussées et des constructions navales, ainsi qu'à des officiers de la marine. Personne d'ailleurs ne me conteste la priorité de ce système.

On démontre qu'il pourrait résoudre un problème singulier, mais sans utilité pratique. Les coefficients des frottements de l'eau sont beaucoup moindres, dans certains cas, pour le mouvement oscillatoire que pour le mouvement uniforme. De sorte que cet appareil, quand même on n'aurait pas d'eau à élever, pourrait servir à *dénaturer* les frottements, afin de conduire plus d'eau que par un mouvement uniforme.

Ce système est un de ceux qui, par sa forme, son principe, son mode d'écoulement et ses propriétés, se distinguent le mieux du bélier.

Machines à compression d'air du Mont-Cenis.

IV. — Le principe de l'appareil précédent est employé avec succès depuis plus d'une année à comprimer de l'air au Mont-Cenis. Cette compression se fait, pour chaque appareil, dans un seul tuyau vertical, où le liquide monte alternativement, et d'où il sort ensuite au bief d'aval par une oscillation qui descend au-dessous du niveau de l'eau de ce bief. En décembre 1858, j'ai donné à la Société philomatique de Paris, et à l'Académie des Sciences de Turin, des explications publiées dans les Bulletins, sur la manière dont l'air se comporte relativement à cette oscillation. La force vive de la colonne liquide comprimante est engendrée précisément comme dans l'appareil précédent, et l'inertie de

l'eau aide aussi à faire fonctionner les orifices en temps utile. A chaque période, le liquide ascensionnel, au moment où il part du repos, entre dans la branche verticale où l'air est comprimé, pour être refoulé dans un récipient. C'était d'abord comme machines à élever de l'eau que j'avais présenté ces systèmes. Je les ai aussi présentés depuis comme machines soufflantes et comme machines à comprimer de l'air. Si, dans mes résumés, je ne me suis pas plus étendu à cet égard, c'est parce qu'ils avaient spécialement pour objet *mes expériences*, comme je l'ai expressément déclaré dans ces résumés, où sont omises beaucoup d'idées pour lesquelles j'avais pris date depuis longtemps, et de la manière la plus formelle.

Je suis le premier à reconnaître que, pour la compression de l'air, MM. les ingénieurs italiens, en appliquant mes principes d'une manière hardie, ont le mérite d'avoir fait des expériences. Il paraît d'ailleurs qu'ils n'ont pas de prétention à l'invention ou à la priorité, prétendant seulement avoir perfectionné ces machines. Ils ont même la loyauté de citer toujours le premier celui d'entre eux qui avait environ *quinze ans* quand j'ai eu l'honneur d'avoir le prix de mécanique de l'Institut de France.

Lorsque, le 31 juillet 1844, S. M. Charles Albert, roi de Sardaigne, me fit l'honneur de me décerner une grande médaille d'or *pour tous mes écrits sur l'hydraulique*, selon deux lettres de M. Solar de la Marguerite, son ministre des affaires étrangères, j'avais déjà montré, par une communication faite à la Société philomatique le 22 juin, et sur laquelle une note a été publiée par le journal l'*Institut* du 3 juillet 1844, n° 549, p. 228, comment mes appareils à colonnes liquides oscillantes pouvaient être transformés en machines à compression d'air. Si Montgolfier savait qu'on pouvait comprimer de l'air avec le bélier hydraulique, je suis le premier qui ai montré comment on pouvait le faire au moyen du mouvement acquis des colonnes liquides *en supprimant les chocs*, et qui ai signalé l'application des vannes cylindriques ou soupapes de Cornwall à la compression de l'air par de grandes colonnes liquides en mouvement.

J'ignore si MM. les constructeurs italiens ont fait quelques perfectionnements essentiels. J'ai cru devoir faire des observations critiques (Voir les Comptes-Rendus des séances de l'Académie des Sciences des 28 janvier 1861, p. 144, et 1er juillet 1861, p. 23). Quelle que puisse être la justesse de ces observations, les résultats obtenus sont d'ailleurs assez satisfaisants, d'après ce qu'annoncent les journaux et diverses correspondances, pour être considérés comme une belle confirmation de mes idées, dont quelques détails seulement pourraient avoir été mieux compris, selon moi.

L'Académie des Sciences de Turin (volumes de 1858 et 1859) et l'Académie des Sciences de Bruxelles m'ont fait l'honneur de publier des mémoires sur ce sujet, et un savant belge, M. de Cuyper, a bien voulu réclamer, dans un mémoire contenant divers extraits de mes écrits, et publié dans sa *Revue universelle* (cahiers de mars et avril 1859), mes droits de priorité. J'ai publié dans divers recueils, bien avant MM. les ingénieurs italiens, qui ne le contestent pas, diverses notes sur ce sujet rappelées dans les mémoires dont il s'agit.

Je m'en rapporte d'ailleurs, quant à ce qu'on en pense en Italie, à ce que l'un des signataires des relations techniques sur le percement des Alpes, M. Sella, ingénieur des mines, membre de l'Académie des Sciences de Turin, ministre des finances, en a dit à M. de Senarmont qui veut bien m'autoriser à le citer. J'ajouterai donc seulement ici que les machines à compression d'air du Mont-Cenis fournissent, selon moi, un moyen facile d'étudier très en grand la question de l'équivalent mécanique de la chaleur, comme je l'ai montré dans une lettre publiée dans les Comptes-Rendus des séances de l'Académie des Sciences, 11 mars 1861, p. 462, surtout dans un mémoire qui a été l'objet d'un rapport favorable à l'Académie des Sciences de Belgique, et qui a été publié par cette Académie dans ses Bulletins, 2e série, t. XI, n° 6. J'ai lieu de croire que les faits observés à Saint-Pierre-d'Arena, dans les premières expériences, s'accordent avec des résultats obtenus par M. Joule. MM. les ingénieurs du Mont-Cenis ne les avaient pas discutés sous ce point de vue, non plus que les savants rapporteurs.

Appareil à double effet pour les écluses de navigation.

V. — Cet appareil a pour but de vider un sas d'écluse en relevant une partie de l'eau au bief supérieur, comme par l'appareil décrit au commencement de cette Note, et de plus de remplir l'écluse en tirant une partie de l'eau du bief inférieur *au moyen d'un seul et même appareil* alternativement élévatoire et aspiratoire, *sans que les sections transversales du tuyau de conduite soient jamais fermées*. Des expériences faites sur un modèle en petit de ce système, en présence de feu M. Fèvre, inspecteur général des ponts et chaussées, et de MM. Belanger et Frimot, ingénieurs en chef, ont établi qu'on épargnait les trois cinquièmes de l'éclusée. M. Belanger a fait un rapport favorable au conseil général des ponts et chaussées, qui, selon les expressions d'une dépêche de M. le Ministre des travaux publics, *a reconnu que cet appareil est d'une conception ingénieuse et basée sur une théorie saine.*

Je rappelle d'ailleurs moi-même que Montgolfier a proposé des béliers à double effet, pour utiliser *avec un même appareil* les marées qui permettent d'avoir des pressions alternativement prépondérantes à l'extrémité d'un seul et même tuyau horizontal. Ce n'est pas le principe du *double effet* sur lequel j'insiste, mais le principe du double effet *sans choc*.

Sur le rapport fait au conseil général des ponts et chaussées par MM. les inspecteurs généraux Bommart, Le Breton et Mary, rapporteur, j'ai été autorisé à faire, aux frais de l'Etat, une expérience en grand sur ce système, le tuyau de conduite à double effet ayant un mètre de diamètre intérieur. La première partie du système, l'appareil élévatoire, est construit à peu de chose près. On a pu constater que la mise en train par un seul homme ne présentait aucune difficulté, et qu'on avait pris beaucoup plus de précautions que cela n'était nécessaire, aucune percussion n'ayant endommagé l'appareil, qui est en tôle. Les expériences qui vont être reprises ont été interrompues par des difficultés résultant momentanément du service des eaux, etc. (Voir le paragraphe XIV.)

Moteur hydraulique à piston oscillant, sans soupape ni tube mobile.

VI. — Ce système, susceptible d'une construction très-rustique, offre l'avantage de pouvoir donner des périodes très-rapides et dont la durée peut être réglée à volonté dans des limites assez étendues, ce que ne pouvait faire le flotteur oscillant avec un tuyau fixe de longueur donnée. Ainsi, on a fait varier le nombre des périodes de douze à vingt-deux par minute.

MM. Cagniard de Latour, Belanger, Person et Thomas ont vu fonctionner ce système chez M. Bourdon, ingénieur mécanicien, lorsque la Faculté des sciences de Besançon en a fait construire un modèle sur la bienveillante indication de M. Regnault.

Une de ses propriétés caractéristiques consiste à utiliser le mouvement acquis d'une colonne liquide, de manière à vaincre les résistances accidentelles qui arrêteraient le piston d'une machine à colonne d'eau, et de manière à pouvoir marcher malgré une baisse considérable du niveau du bief d'amont. Un piston Letestu, est attaché à l'une des extrémités d'un balancier, à l'autre extrémité duquel est suspendu un flotteur plongeant dans l'eau à l'époque où le piston n'est pas engagé dans la partie verticale d'un tuyau en forme de L, disposé d'ailleurs comme le tuyau du flotteur oscillant. Une force de succion assez faible suffit alors pour faire entrer le piston dans cette espèce de corps de pompe en vertu de phénomènes précités. Alors le flotteur sort de l'eau, et il est cependant soulevé à cause

de l'aspiration puissante résultant du mouvement acquis de la colonne inférieure, jusqu'à ce que, ce mouvement étant éteint, le flotteur retombe en relevant le piston, et ainsi de suite indéfiniment. La marche de l'appareil est très-régulière, il n'y a point de soupape comme dans le bélier aspirateur.

J'ai modifié le principe de diverses manières. Un des appareils de mon invention, reposant sur ce principe, est employé depuis plus de sept ans, à vider le puisard où se rendent les eaux du Palais de l'Elysée, à Paris. Un bélier hydraulique de Montgolfier aurait fait un bruit incommode. Il a été construit en mon absence, sur la demande de M. Chaulay, architecte, premier inspecteur de ce Palais. Il n'a pas cessé de remplir les conditions pour lesquelles il a été construit, mais le robinet d'alimentation est tellement soumis aux prises d'eau variables des bornes-fontaines, qu'on n'a pas encore fait d'expériences régulières sur l'effet utile. Le 29 juin 1861, M. Chaulay m'a fait l'honneur de m'écrire relativement à cette machine que « jusqu'à présent elle a toujours bien fonctionné, il n'y a eu que des nettoyages à faire faire et quelques réparations de cuirs. » Le 4 janvier dernier, M. Lacroix, architecte en chef de ce Palais, m'a fait l'honneur de m'écrire : « Je certifie que la machine de votre invention qui existe au Palais de » l'Elysée marche indifféremment le jour et la nuit. Il est arrivé plusieurs fois à » la suite de grandes pluies qu'on a dû laisser marcher l'appareil pendant vingt- » quatre heures sans discontinuer. »

Avant qu'on eût exécuté ces systèmes, j'en avais décrit les principes dans un Mémoire publié dans le *Journal de Mathématiques* de M. Liouville, t. XII, p. 73. (Voir aussi dans le journal l'*Institut*, année 1844, les extraits des procès-verbaux des séances de la Société philomatique de Paris.)

Appareils à faire des épuisements, sans pièce mobile, au moyen des liquides en mouvement et notamment des vagues de la mer.

VII. — La Société géologique de Londres a signalé un phénomène curieux qui a beaucoup embarrassé les savants, mais qui pourrait bien être une expérience toute faite en faveur du système que je propose : un cours d'eau assez fort pour faire marcher plusieurs moulins, se jette dans la terre au-dessous du niveau de la mer, dans une des îles Ioniennes.

Je me suis aperçu qu'en rendant fixes toutes les pièces de l'appareil mentionné, paragraphe Ier, le tube vertical restant soulevé, cela suffisait pour en faire une machine propre aux épuisements, à cause de la manière dont se comporte un genre de succion très-puissant, susceptible d'agir sur un cours d'eau souterrain

au moyen de tuyaux de communication. Mais il n'est pas même indispensable de faire une construction semblable. Il suffit de supposer convenablement relevés ou recourbés extérieurement les bords des surfaces recevant les chocs des puissants jets d'eau occasionnés dans certains lieux par les vagues, pour qu'il en résulte de très-fortes succions sur des cours d'eau souterrains aboutissant à ces bords relevés, surtout si les surfaces recevant le choc présentent dans leur partie centrale des excavations convenablement disposées.

On sait qu'un phénomène de succion à contre-courant avait été indiqué par MM. Thénard, Clément Desormes et Hachette, pour de minces filets fluides; mais on était loin de se douter des effets de succion à contre-courant qui, surtout dans mes expériences de Saint-Lô et de Chaillot, se sont présentés sur une grande échelle à des distances de plusieurs décimètres, et avec une puissance telle qu'il a fallu modérer les effets pour ne pas briser les appareils. (Voir les *Comptes-Rendus des Séances de l'Académie des Sciences*, 21 décembre 1857, 4 et 18 janvier 1858.) Comme il s'agit d'utiliser une quantité de travail perdu, qui est presque indéfinie, l'essentiel était de trouver un moyen peu dispendieux de s'en servir, par exemple pour faire des épuisements dans les marais de la Camargue. Or, il suffira pour cela de faire des constructions en maçonnerie très-simples, quand on n'aura pas à sa disposition des rochers faciles à tailler convenablement.

Appareil élévatoire à oscillations et à air dilaté.

VIII. — J'ai présenté à l'Académie, le 26 octobre 1857, la description d'un modèle fonctionnant d'un appareil à élever de l'eau au moyen d'une chute dans les circonstances où l'eau doit être élevée au-dessus du niveau du bief supérieur, étant tirée d'un puits au-dessous du bief inférieur. Dans l'état où il est, ce n'est peut-être encore qu'un appareil de physique intéressant d'ailleurs, notamment à cause de la manière dont un bout de tuyau se soulève alternativement dans un sens contraire à celui du mouvement des poutrelles qui s'enfoncent dans les barrages. Cette espèce de vanne cylindrique automatique, introduit alternativement l'eau motrice dans l'appareil. Dans le système de Branca, attribué à Detrouville, et où n'existait pas d'ailleurs cette vanne automatique, le travail employé à dilater l'air avant l'époque où l'eau commence à monter en vertu de cette dilatation, était perdu. Dans cet appareil, que j'ai inventé au commencement de 1850 (journal l'*Institut*), ce travail est utilisé par le relèvement de la colonne aspirante, qui est à son tour aspirée.

Pompe à flotteur sans piston ni soupape.

IX. — Si, au lieu d'être employé comme récepteur, un flotteur mis en mouvement par une force motrice, met une colonne liquide en oscillation dans un tuyau en partie plongé dans l'eau à épuiser, l'eau se jette alternativement au sommet. Dans un appareil de ce genre bien combiné et de diamètre convenable, on peut diminuer presque indéfiniment les pertes de travail. J'ai employé ce système, à amorcer, à Chaillot, le moteur hydraulique à flotteur oscillant, quand je n'avais que peu d'eau motrice.

Ce système peut être varié de diverses manières, comme je l'ai expliqué dans une lettre à l'Académie des Sciences, imprimée dans les *Comptes-Rendus* (7 décembre 1857). Les principes de ces applications avaient été communiqués à la Société philomatique en 1840.

Tube conique transformé en pompe aspirante.

X. — On connaissait l'effet de *canne hydraulique* d'un pareil tube, le moteur agissant de haut en bas ; mais on ne savait pas que, pour les élévations de 2 à 3 mètres, il valait mieux agir de bas en haut, et qu'il serait facile de transformer un tuyau conique en *pompe aspirante*, commode pour élever les liquides imparfaits, tels que les purins de fumiers.

Ce système, essayé pour la première fois, un peu en grand, en 1841, et communiqué dès lors sous ce point de vue à la Société philomatique, est décrit dans les *Comptes-Rendus de l'Académie des Sciences*, 5 janvier 1852. Il a été mentionné favorablement dans un rapport de M. Combes à la Société centrale d'agriculture. M. Combes l'avait vu fonctionner à Versailles. Il a été employé dans diverses circonstances. C'est à cette occasion, parce qu'on en a été satisfait dans le département du Rhône, que la Société d'agriculture, sciences et arts de Lyon, m'a fait l'honneur de m'envoyer le diplôme de membre correspondant.

(Voir une figure à l'échelle, ainsi que deux figures de l'appareil du paragraphe I, dans le rapport fait sur ces deux appareils, le 15 janvier 1858, à la Société centrale des architectes, Bulletin de cette Société, février 1858, pp. 315 et 318.)

Appareils de physique.

Appareils à élever de l'eau sans aucune pièce mobile, pour l'explication des fontaines intermittentes.

XI. — J'ai présenté à l'Académie des Sciences, le 5 novembre 1838, un appareil dont j'ai construit un modèle fonctionnant, en 1839. C'est un appareil en forme de $\int$, élevant de l'eau au moyen d'une chute sans aucune pièce quelconque mobile, et ayant seulement pour but d'expliquer des phénomènes du mouvement des fontaines naturelles. Je crois pouvoir rappeler que ce système et plusieurs de ses modifications présentées successivement à l'Académie, et dont le résumé est imprimé dans les *Comptes-Rendus*, t. x, p. 819, séance du 25 mai 1840, avaient particulièrement attiré l'attention de M. Arago, qui attachait une véritable importance à la solution des problèmes sur les fontaines intermittentes, et les présenta à l'Institut avec beaucoup de bienveillance, ainsi que l'appareil suivant ayant un but analogue. Ces recherches sont résumées dans un Mémoire que j'ai publié dans le *Journal de Mathématiques* de M. Liouville, en 1841, t. vi, p. 331. Dans ce système on peut supprimer la soupape au moyen d'un siphon alternativement amorcé en vertu du mouvement ascensionnel d'une colonne liquide oscillante, et dont l'écoulement s'interrompt alternativement de lui-même.

Appareil servant à l'explication des fontaines intermittentes sous-marines.

XII. — J'ai exécuté en 1840 et présenté à l'Académie des Sciences, en 1841, un autre appareil aussi sans aucune pièce quelconque mobile, ayant pour but de faire des épuisements au moyen d'une force quelconque irrégulière. J'ai publié dans le journal de M. Liouville, en 1843, tome viii, page 23, un Mémoire sur ce sujet, suivi d'une Note de M. Combes, qui peut être considérée comme un rapport développé sur ce travail. M. Combes, par des moyens analytiques, confirme et développe mes résultats. Ce travail avait seulement pour objet d'expliquer certains phénomènes du mouvement des ondes, mieux expliqués aujourd'hui par le moyen que j'ai présenté depuis à l'Académie des Sciences pour faire des épuisements par l'effet du choc des vagues de la mer. Au reste, les deux moyens peuvent être réunis, et d'ailleurs le mode de *non pression* d'une espèce particulière, développé dans ce Mémoire avec le calcul de ses effets, peut encore être utile pour rendre compte des courants temporaires dans la mer, des parties cal-

mes aux parties agitées. Le principe démontré par cet appareil, quoique reposant sur une loi de Bernoulli, n'était pas évident, ainsi que le constate d'ailleurs la Note de M. Combes. La moyenne des pressions dans un tuyau vertical plongé dans un réservoir, et communiquant avec un réservoir latéral, est diminué par l'état d'oscillation d'une colonne liquide ; il en résulte que l'eau baisse dans ce réservoir latéral, et entre dans le premier réservoir.

Expériences sur le frottement de l'eau dans les mouvements oscillatoires.

XIII. — J'ai publié dans le *Journal de Mathématiques* de M. Liouville (1838 et 1841), des Mémoires théoriques et pratiques sur les oscillations de l'eau dans les tuyaux de conduite, où j'avais admis la définition de la force vive proposée par M. Coriolis. J'ai trouvé que dans certaines limites du rapport de la course de l'oscillation au diamètre, on ne doit tenir compte que du terme de la résistance des parois, proportionnel aux carrés de vitesses. Ce n'est point que l'autre terme supposé par Prony, proportionnel aux simples vitesses, n'existe pas, mais parce que la résistance est diminuée en vertu d'un principe nouveau, auquel M. le général Poncelet m'a fait l'honneur de donner son approbation, en parlant dans son cours à la Sorbonne, en 1840, du résultat suivant. J'ai trouvé que, dans certains cas, la somme des coefficients du frottement est diminuée d'au moins moitié pour une assez grande conduite qui amène l'eau au Jardin des Plantes. Les résultats que j'avais obtenus dans les tuyaux d'un diamètre moindre avaient été approuvés dans le rapport à l'Institut du 20 août 1838.

Dans le Mémoire publié en 1838, présenté l'année précédente à l'Académie des Sciences, et qui a été approuvé par cette Académie, j'ai signalé un effet assez singulier : c'est un jet d'eau oscillant dans l'air libre et s'élevant alternativement avec la colonne oscillante à de grandes hauteurs au-dessus du réservoir. La naissance et la cessation alternatives de ce jet montrent comment se comportent les pressions au moment où l'on ouvre les conduites, et sert à expliquer des phénomènes d'écrasement, et des phénomènes du mouvement du sang.

Recherches sur le mouvement de l'eau dans des tuyaux et des canaux d'une petite longueur.

XIV. — J'ai publié, dans les *Annales des Mines*, en 1838, t. XIII, un Mémoire où, m'appuyant sur des expériences en petit d'Eytelwein, qui ne s'était

pas douté du nouveau principe auquel elles pouvaient donner lieu, j'ai montré que dans les canaux d'une petite longueur, par rapport à leur diamètre, le rapport de la vitesse moyenne à la vitesse à la surface doit être plus grand que dans ceux d'une très-grande longueur. Ce résultat a été confirmé depuis par les expériences de M. Boileau, *Comptes-Rendus des séances de l'Académie des Sciences*, 2 février 1846, et *Traité de la mesure des eaux courantes*, p. 346.

Je crois devoir faire observer que ce principe permet de coordonner des expériences de M. Baumgarten et de M. Boileau, qui paraissaient devoir rendre la question de plus en plus compliquée, tandis que mes recherches semblent prouver l'exactitude de ces deux observateurs.

J'ai publié en 1850, dans le journal de M. Liouville, un Mémoire sur le frottement de l'eau contre des surfaces mouillées de diverses manières. On y trouve des effets singuliers d'élévation maximum de colonnes liquides, dans des cas où, pour le même tube, elles semblaient devoir se présenter en un sens contraire. Le principe de l'utilité de mouiller préalablement les tuyaux pour l'écoulement de l'eau est bien établi dans ce travail; il ne l'avait pas été suffisamment par Bossut. J'ai communiqué, en février 1833, l'expérience fondamentale de ce Mémoire à M. Dan de la Vauterie, ingénieur en chef, et à M. Tostain, aujourd'hui inspecteur général des ponts et chaussées.

Mes idées sur l'utilité de la longueur des tuyaux par rapport à l'amplitude de l'oscillation des colonnes liquides sont développées dans ce Mémoire; une lettre d'un membre de l'Institut, timbrée de la poste du 21 mai 1833, montre que je m'étais occupé de cette question à cette époque déjà ancienne. Entre autres documents, la planche jointe à mon Mémoire précité, publié dans le *Technologiste* de 1850, montre d'ailleurs comment je comprenais depuis longtemps le mode d'introduction de l'eau dans les écluses par un tuyau de conduite de section et de longueur suffisantes.

Dernièrement un savant ingénieur belge, M. Maus, membre de l'Académie des Sciences de Bruxelles, s'est servi de mes idées d'une manière intéressante. Adoptant la forme générale de ce tuyau d'introduction tel que je l'avais dessiné, mais l'ouvrant en une seule fois, au lieu de faire marcher l'appareil du paragraphe V, il a obtenu en vertu de la vitesse acquise un exhaussement dans l'écluse; de sorte que les portes d'amont se sont ouvertes d'elles-mêmes et que le bateau montant est entré de lui-même dans le bief d'amont. (Voir ce que j'ai dit sur ce sujet dans les *Comptes-Rendus des séances de l'Académie des Sciences* des 15 avril et 6 mai 1861.)

Expériences diverses sur les ajutages, les coudes, les tourbillons, les ondes et les oscillations des veines et des nappes liquides.

XV. — J'ai présenté à l'Académie des Sciences, en 1844, 21 octobre, des expériences faites en 1841, d'où il résulte que dans certains cas les ajutages divergents débitent plus d'eau quand ils sont plongés que lorsqu'ils coulent dans l'air, contrairement à ce qu'on disait dans tous les traités d'hydraulique et de physique. J'ai aussi employé une méthode nouvelle pour déterminer, quant au mouvement oscillatoire, les angles des ajutages divergents de plus grandes dimensions, au moyen de la durée des oscillations dans des tubes coniques verticaux, en m'appuyant sur l'analyse de Bernoulli.

J'ai fait en 1845 diverses observations sur les tourbillons ; on citera seulement ici celles d'où il résulte que la fameuse loi romaine sur les ajutages divergents pouvait quelquefois être à l'avantage des concessionnaires, parce que, pour certains angles et certaines dimensions, les tourbillons latéraux provenant de l'évasement diminuent la section d'écoulement réel.

J'ai fait aussi des observations diverses sur le mouvement de l'eau dans les coudes, et je les ai développées depuis par des expériences sur les phénomènes des nappes liquides divergentes, dans diverses circonstances des mouvements de l'eau à la sortie de mes appareils. J'ai depuis proposé une méthode pour étudier les gisements de gravier au moyen des lois du mouvement dans les coudes des cours d'eau diluviens, et je l'ai appliquée à plusieurs carrières de gravier creusées pour l'établissement du chemin de fer de Paris à Cherbourg.

J'ai considérablement diminué la résistance au mouvement de l'eau dans les tuyaux coudés à angle droit, au moins dans ceux où les localités ne permettent d'arrondir que la partie concave. J'y suis parvenu par la division du coude en plusieurs au moyen de lames concentriques. Ces expériences permettent d'appliquer plus facilement en grand ceux de mes appareils, pour lesquels on avait dû craindre qu'il ne fût nécessaire d'établir des fondations profondes, afin d'arrondir les rayons des tuyaux coudés. (Voir les *Comptes-Rendus* des séances de l'Académie des Sciences, 20 août 1855, t. XXXXI, p. 328.)

J'ai communiqué à la Société philomatique, en 1846, des expériences sur les oscillations rapides des colonnes liquides, et même de l'eau en mouvement dans les canaux, provenant d'une disposition particulière des obstacles fixes. J'ai produit des jets d'eau qui, sans aucune pièce mobile et par la disposition de certains obstacles, sont alternatifs, cessent complètement et renaissent comme

par un mouvement régulier de respiration. Cela pourra servir par la suite à étudier, au moyen d'un mouvement extérieur, l'état intérieur d'une conduite ; les lois que j'ai trouvées pour la durée des oscillations dans certaines circonstances, peuvent d'ailleurs servir à montrer si une conduite est engorgée sur une grande étendue.

J'ai présenté à l'Académie, en 1837, des expériences sur les rétrécissements dans les conduites où oscille une colonne liquide, et j'en ai fait l'objet d'une communication à la Société philomatique de Paris, le 19 juin 1841. J'attache une certaine importance à ces expériences, d'autant plus que M. Poncelet a trouvé un résultat semblable pour le mouvement uniforme, dans des expériences encore inédites, qu'il a faites à Toulouse. Les principes de Borda sur cette matière sont ainsi désormais bien constatés. J'ai publié dans le journal de M. Liouville un Mémoire sur les sujets précédents en 1850 (1).

Expériences sur les ondes.

XVI. — M. Bourdon ayant, sur la demande de M. le général Poncelet, mis à ma disposition un canal factice régulier de dimensions convenables, j'ai d'abord éclairci une discussion non encore résolue entre MM. le colonel Emy et Virla sur les trajectoires des molécules à l'intérieur des ondes sans translation sensible à la surface. J'ai trouvé que ces ingénieurs distingués n'avaient chacun vu qu'un côté de la question, et que le mouvement véritable était principalement oscillatoire sur le fond et orbitaire dans les régions supérieures, au moins pour toutes les ondes de cette espèce qu'il m'a été possible de produire. Cela s'accorde avec l'analyse de M. Airy; mais ni cette analyse, ni les expériences des frères Weber et de M. Aimé n'avaient terminé la discussion, dans laquelle la plupart des ingénieurs avaient pris parti pour ou contre. J'ai montré que les faits présentés par ces deux observateurs, et qui semblaient se contredire, pouvaient être expliqués au moyen du phénomène des ondes *solitaires*.

Cela m'a donné occasion d'étudier des phénomènes de recul dans les ondes à mouvement apparent rectiligne et dans les ondes en zigzag. M. Arago, en présentant à l'Institut mon premier travail sur les ondes, qu'il a publié dans les *Comptes-Rendus*, séance de l'Académie des Sciences du 14 février 1843, fit remarquer surtout un effet sensible de recul des corps roulants posés sur le fond horizontal, observé après le passage des ondes à mouvement apparent rectiligne

(1) A la page 14 de ce Mémoire, *au lieu de* 0m33, *il faut lire* 33m.

J'ai aussi remarqué sur des ressauts, il est vrai d'une petite longueur, que j'avais disposés dans ce canal, un mouvement de recul, tandis que, selon M. Emy, les ressauts devraient donner lieu à des *flots de fond* qui agiraient en avant. Je montre d'ailleurs comment on peut expliquer les faits rassemblés par M. Emy pour appuyer sa théorie des *flots de fond*. MM. Emy et Virla n'ont répondu ni l'un ni l'autre.

J'ai ensuite étudié le mouvement de l'onde appelée solitaire. J'ai trouvé, ce qui s'accorde bien avec les expériences de M. le général Poncelet et de M. le général Morin, que la vitesse de ces ondes, quand elles ne sont pas formées par suite d'un amas d'eau à l'extrémité fermée d'un canal, dépend de la manière dont elles ont été engendrées. Or, elles marchent d'autant plus vite que le corps qui les a engendrées par son mouvement, ayant des dimensions qui ne sont pas trop petites par rapport à celles du canal, est enfoncé plus profondément. J'en ai conclu, en étudiant la question, que, pour le dégagement des ondes formées par les décharges alternatives de mes machines hydrauliques, il vaut mieux, toutes choses égales d'ailleurs, faire déboucher les orifices de décharge le plus près possible du fond de l'eau.

Quant à la vitesse des ondes formées par un amas d'eau et se promenant d'une extrémité à l'autre du canal, j'ai confirmé les résultats déjà connus. J'ai suppléé à la longueur du canal, en faisant promener une onde solitaire d'une extrémité à l'autre ; je ne sais pas d'une manière assez positive si cette idée, dont on a fait d'autres applications, est de moi ou de M. Russel, dont je n'ai pas en ce moment les Mémoires sous les yeux.

Des constructions faites sur une extrémité de ce canal m'ont empêché de continuer ces expériences et d'étudier plus spécialement les détails des phénomènes.

Les expériences dont je viens de parler sont résumées dans un Mémoire que j'ai publié en 1848 dans le journal de M. Liouville, t. XIII, p. 91, et dans un passage du résumé publié en 1850 dans le *Technologiste*.

J'ai décrit dans ce Mémoire un appareil à flotteur et à tube oscillant sans autre pièce mobile, que j'ai exécuté pour élever l'eau au moyen des vagues, et rendre sensible la diminution des vitesses à certaines profondeurs sous les ondes.

Un savant italien, M. Cialdi, a publié, en 1856, un essai sur le mouvement des ondes, dans lequel il parle avec bienveillance de mes expériences sur ce sujet. En cherchant à répondre à une objection qu'il avait d'ailleurs cru devoir me faire, j'ai constaté sur un canal factice beaucoup plus long, que le phénomène précité du recul au fond de l'eau dépendait de la distance de l'origine des ondes où il

était observé, après le passage d'un nombre d'ondes courantes suffisant; que ce phénomène, d'abord très-sensible, finissait par ne plus l'être, à une grande distance de cette origine, après la disparition des ondes, et qu'il était d'ailleurs compensé par un mouvement de progression en sens contraire à la surface de l'eau; c'est-à-dire qu'à une distance suffisante de cette origine, il résultait de ces compensations que le transport réel était sensiblement nul. Ces phénomènes nouveaux de progression et de recul servent à expliquer des faits observés par les frères Weber dans un canal trop court. (Voir les Comptes-Rendus de l'Académie des Sciences, t. LII, p. 1309.) — Quant au genre de mouvement de va-et-vient à la surface des ondes courantes de la mer qui, combiné avec le mouvement de va-et-vient de haut en bas, semble favorable au système du mouvement *orbitaire* dans les régions supérieures, la manière dont l'écume finit par se confondre avec la surface, dont alors elle change seulement la couleur, m'a offert un moyen commode de l'observer dans une traversée en mer, et aussi sur les côtes de Normandie. (Bulletin de la Société philomatique, 1842, depuis le 23 juillet, 1843, 1846, 1851, etc., journal *l'Institut*.)

Bélier univalve et perfectionnements des anciens béliers. — Considérations générales.

XVII. — Pour prouver que les machines de mon invention ne sont pas seulement des béliers hydrauliques sans choc, j'ai transformé le bélier hydraulique en machine à colonne oscillante sans réservoir d'air et à une seule soupape. Le modèle qui a fonctionné en 1839, devant une commission de l'Institut, est un tuyau recourbé verticalement en aval avec soupape ordinaire, déposé au cabinet de l'École polytechnique, pour lequel M. Savary l'avait fait faire sous ma direction, ainsi qu'un modèle du double siphon oscillant, objet du paragraphe III. Cet appareil est décrit dans les *Annales des Mines*, 1838, t. XIV. Ce n'est plus à mes yeux qu'un appareil de physique, utile d'ailleurs pour rendre sensibles quelques phénomènes de percussion et de pression dus au mouvement de l'eau. Il a été mentionné favorablement dans un rapport à l'Institut.

Par l'application heureuse d'une de mes idées, on supprime aujourd'hui le bruit qui était occasionné par la soupape d'arrêt du bélier hydraulique ordinaire. (Voir mon mémoire précité sur le bélier univalve, dans les Annales des Mines, 1838, p. 6, fig. 2.) Dans le bélier aspirateur, *tel que Montgolfier l'a présenté*, il y avait une soupape d'arrêt soulevée par la percussion de l'eau. Dans ceux

qu'on exécute aujourd'hui, cette soupape est *cylindrique, disposée au sommet de l'appareil* et se ferme par un principe de succion, comme la soupape annulaire de mon flotteur oscillant et celles de plusieurs autres de mes appareils, ce qui change l'état de la question (1).

Quant à mes machines hydrauliques, il suffit de remarquer, pour celles de Montgolfier et de Manoury d'Ectot, qui, au premier aperçu, ont pu sembler reposer sur des principes analogues, que *j'évite, au contraire*, d'employer les phénomènes de percussion sur lesquels reposent exclusivement celles qu'ils avaient construites. Loin de chercher à les perfectionner, j'étudie sous toutes ses faces un principe nouveau, qu'on pourrait appeler ***principe des vitesses continues***, pour le distinguer des ***coups de bélier*** de Montgolfier et des autres *phénomènes de percussion, d'écrasement de colonnes liquides*, avec pertes énormes de force vive, signalés par Manoury d'Ectot. Il y a moins de rapports entre ces machines et les miennes qu'entre elles et le principe des oscillations dans les tuyaux de conduite, décrit dans les expériences de Mariotte, *Traité du mouvement des eaux*, in-12, 1718, p. 112.

Ainsi que le remarque, pour la colonne oscillante à double effet, le rapport fait à l'Institut, le 20 août 1838, quand les tubes verticaux de mes appareils se vident par oscillation, c'est, en général, *sans perdre d'autre force vive que celle qu'exigent les frottements, c'est-à-dire en ne faisant descendre que très-peu le centre de gravité de la colonne fluide qui doit sortir.*

N'ayant jamais pris de brevet d'invention, n'appartenant à aucun corps, j'ai eu surtout l'intention, dans mes expériences, d'établir par des essais assez en grand la réalité de mes inventions et la marche de jour et de nuit de mes appareils. L'effet utile doit être considéré seulement comme un minimum étant susceptible d'être augmenté par divers moyens que j'ai indiqués. Ne m'occupant point d'affaires, j'ai pensé que les constructeurs, et surtout les gouvernements, en apprécieraient tôt ou tard l'utilité. On sait que déjà il y a des ingénieurs qui se servent avec avantage de mes idées; je citerai parmi eux un savant connu de l'Académie, M. Franchot, qui est le premier à en convenir.

(1) Si quelques-uns des phénomènes de succion dont il s'agit peuvent être comparés avec ce qui se présente quand les poutrelles s'enfoncent dans les barrages, il est incontestable qu'on n'avait nullement pensé à s'en servir pour supprimer la percussion de l'eau, en faisant fonctionner des soupapes cylindriques, disposées *au sommet* de ce genre d'appareils. Quant aux phénomènes de succion attirant en sens contraire du courant, des surfaces qui semblaient au contraire devoir être repoussées, les effets signalés dans les §§ I et VII dépendent de plusieurs causes, et se présentent dans des circonstances auxquelles on n'avait jamais pensé. On sait combien j'ai eu de peine à les faire admettre par des ingénieurs très-savants; il n'est pas même indispensable que l'écoulement se fasse par une sorte d'ajutage annulaire divergent; on peut précisément supprimer celle des parois qui n'est pas opposée à la percussion apparente.

On sait qu'une grande application de mes idées a été faite avec succès en Italie (1), et qu'en ce moment même des expériences sur une très-grande échelle sont poursuivies par le gouvernement français, comme je l'ai dit paragraphes IV et V.

M. Regnault me conseille d'ailleurs d'insister sur ce que mes appareils peuvent aussi marcher régulièrement très en petit, ce qui permet d'utiliser des chutes aujourd'hui perdues, et qui, par leur nombre, ont beaucoup plus d'importance que quelques chutes puissantes sur lesquelles, au premier aperçu, les applications seraient plus remarquées, quoique moins réellement utiles (2).

Recherches historiques et critiques, matériaux d'un traité nouveau d'hydraulique générale.

XVIII. — N'ayant rien négligé pour prouver la nouveauté de mes appareils, j'ai été obligé de faire beaucoup de recherches historiques. Il en est résulté que j'ai communiqué à la Société philomatique, notamment depuis 1845, des recherches historiques et critiques sur les anciennes machines hydrauliques, dont beaucoup sont omises dans les traités modernes. On peut voir, par ce qui en est

(1) Si dans les premiers essais, au Mont-Cenis, il est arrivé un accident, c'était parce qu'on avait négligé une précaution que j'avais prise dans l'appareil *à oscillations partant du repos* au moment où l'ascension commence, qui, en 1837, a marché régulièrement à l'École des Mines, en présence d'une Commission de l'Académie des Sciences. Quand les tuyaux pour cette disposition ne sont pas très-longs par rapport à la chute motrice, *les orifices d'amont et d'aval ne doivent jamais communiquer ensemble*. Depuis qu'on a pris à ce sujet des précautions convenables, au Mont-Cenis, c'est-à-dire depuis le mois de janvier 1861, on s'est montré satisfait de la marche des machines à compression d'air. (Voir les Mémoires et notes précités, pour mes observations diverses sur ce grand travail.)

(2) C'est surtout la possibilité de supprimer, dans plusieurs de mes appareils, toute espèce de balanciers et de soupapes, qui a permis de les construire, même très en petit, d'une manière on ne peut plus *rustique*, ce qui était plus difficile à réaliser, que pour les grandes machines; ainsi j'ai réduit l'appareil du § I, à n'avoir d'autre pièce mobile qu'un tube oscillant attaché à un flotteur annulaire qui le relève alternativement, lorsqu'après le versement de l'eau au sommet, une oscillation en retour est descendue assez bas pour que l'eau qui pressait, à l'intérieur, un anneau inférieur, d'un diamètre moindre que celui du reste de ce tube, permette à celui-ci d'être ainsi relevé pour redescendre ensuite en vertu des phénomènes précités de succion à contre-courant.

J'ai à Versailles un modèle fonctionnant, *très-rustique*, de cette disposition, quoique je sois parvenu à lui donner des dimensions très-petites. Dans le cas où il resterait le moindre doute sur la marche de *jour* et de *nuit*, de mes appareils, en apparence les plus délicats; je le tiens à la disposition du Conservatoire des Arts-et-Métiers, je préviens seulement que l'effet utile sera moindre que pour de plus grandes dimensions, sans descendre au-dessous de celui de plusieurs grandes machines en usage. Les phénomènes des résistances passives dans les petites vitesses, suffiraient seules pour expliquer une diminution sensible d'effet utile.

dit dans le journal l'*Institut*, qu'à l'occasion de ces recherches, je me suis occupé de toutes les parties de l'hydraulique; que, si je n'ai pas publié un traité complet, ayant désiré d'ailleurs attendre que le Gouvernement eût essayé assez en grand mes propres systèmes, j'ai rassemblé les matériaux de ce traité, et ne me suis pas borné à m'occuper d'une branche entièrement nouvelle de cette science, et ayant déjà une certaine généralité.

J'ai présenté à cette occasion les principes de nouvelles roues hydrauliques et d'autres appareils. Il y a dans une de ces roues des lames liquides oscillantes (1); cependant elle repose sur un principe différent de celui de la belle roue *à double effet* de M. Poncelet et n'a pas le même but. Mais dans cette Notice succincte, je ne parle que d'*expériences* faites par moi-même, ou par d'autres sur mes idées, renvoyant même aux *Comptes-Rendus* pour l'appareil nouveau présenté le 12 octobre 1857 à l'Académie des Sciences, relatif à un problème proposé à l'occasion d'un grand pluviomètre, projeté pour l'Observatoire de Paris et pouvant aspirer de l'eau au moyen d'une grande chute pour faire des arrosages; j'ai d'ailleurs simplifié depuis le régulateur, comme pour le paragraphe III.

Je crois devoir faire une remarque générale sur les anciens appareils hydrauliques. Si l'on retrouve beaucoup de combinaisons intéressantes de l'hydrostatique, s'il y en a même qui ont été développées par les premiers inventeurs (parmi lesquels j'ai déjà cité Branca, auteur de curieuses applications d'un de ses appareils attribué à de Trouville) d'une manière plus complète à certains égards que par ceux qui ne s'étaient pas occupés de l'histoire des sciences, il paraît positif que les anciens constructeurs n'avaient aucune idée exacte de l'application du principe des forces vives. J'ai retrouvé, il est vrai, notamment dans les auteurs du XVIe siècle, des combinaisons ingénieuses, par exemple celle du parachute, etc., et des formes très-variées des roues hydrauliques. Mais, en général, quand on lit le texte, au moins dans les langues que je connais, on est

(1) Voir les *Comptes-Rendus* des séances de l'Académie des Sciences, des 13 janvier et 17 février 1862, p. 119, 227, 375 et 524, et les Bulletins de la Société philomatique, depuis 1845.

Ces roues ont le même but que les anciennes roues de côté, coulant à plein coursier, mais sont disposées de manière à marcher plus vite. Je rappellerai surtout la manière dont l'introduction et la sortie de l'eau se font en vertu d'un système entièrement nouveau de colonnes liquides oscillantes. Ce qu'il y a de plus intéressant est la manière dont la vitesse de sortie est utilisée au moyen du principe sur lequel repose l'appareil cité § XII. Mais comme il ne s'agit encore que d'une théorie, je renvoie aux *Comptes-Rendus*, dont les articles précités ne peuvent être abrégés. J'ai aussi donné des moyens de varier le débit des anciennes roues de côté coulant à plein coursier, proposées pour utiliser les chutes très-variables, mais dont on n'avait aucun moyen commode de régler le débit selon la chute.

J'ai décrit un autre moyen d'augmenter la vitesse de ces roues, en donnant à leur section perpendiculaire à l'axe, la forme d'une sorte de courbe serpentante.

étonné de ne plus reconnaître, pour ainsi dire, que des *images*. De sorte qu'il me paraît incontestable que l'honneur de l'application utile des roues à aubes courbes est d'autant plus exclusivement dû aux savants modernes, que depuis plus de deux siècles on en construisait d'horizontales *à simple effet*, sans avoir su en tirer un effet utile convenable. Je me suis aussi occupé de ces systèmes en appliquant la théorie des roues d'Euler et de Borda, à deux espèces de roues verticales (Bulletin de la Société philomatique, 11 décembre 1847, et surtout 22 janvier 1848, journal l'*Institut*).

On peut voir dans les Bulletins de la Société philomatique, depuis 1839 (journal l'*Institut*), avec quelle généralité j'ai discuté les anciennes machines hydrauliques de toutes les espèces, en montrant comment elles pouvaient être perfectionnées; comment on pouvait même, dans certains cas, appliquer mes idées sur les moyens, soit d'éviter les chocs, les pertes de force vive, soit de faciliter la conservation du vide, etc. J'ai aussi donné des moyens de transformer en récepteurs hydrauliques d'anciennes pompes assez curieuses. J'ai même simplifié et rendu plus indépendantes de l'éclusier les écluses à flotteur et à double compartiment; M. Combes a bien voulu insérer une note à ce sujet dans le *Bulletin de la Société d'encouragement pour l'industrie nationale*, 1846, p. 567. Elle peut être appliquée, quoique avec moins d'avantage et de généralité, à ce que M. le général Poncelet a proposé pour les écluses triples. Enfin je n'ai rien négligé pour appliquer mes recherches d'érudition à des questions d'utilité publique, même comme on le voit par cet exemple, en les discutant abstraction faite des idées que j'ai toujours désiré spécialement propager; je me suis d'ailleurs borné à publier les documents historiques utiles quant aux applications. On jugera peut-être d'après ce qui précède, que si l'on a pu me reprocher d'être un peu trop resté dans ma spécialité, c'était parce que je n'avais pas cru nécessaire d'appeler l'attention sur la généralité de mes recherches que je savais bien connues de beaucoup de Membres de l'Académie des Sciences, en présence desquels je les avais développées verbalement à la Société philomatique (1).

(1) J'ai déjà dit ailleurs que je ne pouvais répondre des fautes d'impression ou de rédaction de notes succinctes insérées dans divers recueils, et qui ont été modifiées sans ma participation, ou sans que j'aie revu les épreuves.

A Flottemanville, près Valognes (Manche) et à Versailles, Mars 1862.

VERSAILLES — IMPRIMERIE DE BEAU JNE, RUE DE L'ORANGERIE, 36.